

Cromatismi armonici

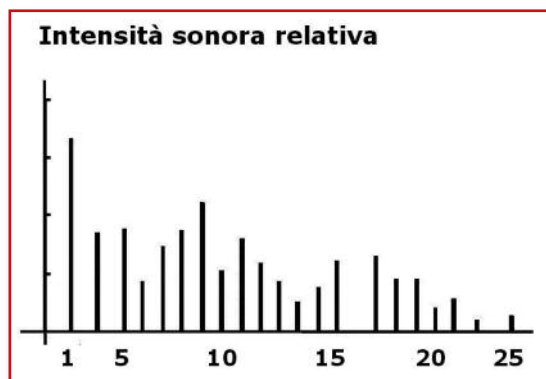
LA DISTORSIONE ARMONICA NELLE LAMPADIE FLUORESCENTI: COS'È E COME CONTROLLARLA

di FAUSTO MARTIN

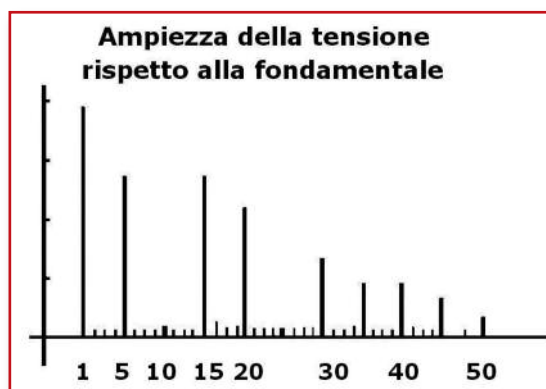
L'uso di lampade fluorescenti è estremamente diffuso tanto nel settore commerciale che in quello residenziale in virtù della loro elevata efficienza energetica; trattandosi di tecnologia "matura" si è oramai posto rimedio alla maggior parte degli svantaggi di queste sorgenti, tuttavia esistono ancora alcuni risvolti che devono essere definitivamente risolti. I maggiori sono il ronzio e lo sfarfallio ad alta frequenza, principalmente dovuti ai reattori, che meritano, a parere di chi scrive, ulteriori approfondimenti. Non ultimo il problema delle armoniche; emerso negli anni Ottanta, balzò alla ribalta quando importanti enti elettrici offrirono uno sconto ai clienti che impiegassero alimentatori elettronici con una distorsione armonica inferiore al 20% della fondamentale. Nonostante ciò, nel corso degli anni si è osservato che i livelli di distorsione armonica delle forme d'onda di tensione e corrente sono costantemente aumentati a causa della crescente domanda di energia elettrica.

Lampade con una eccessiva distorsione armonica comportano una minore emissione di luce, un tremolio della lampada e ulteriori problemi di compatibilità con altri dispositivi collegati alla rete elettrica che operano nelle vicinanze. Non va dimenticato che gli effetti negativi di un certo edificio dipendono dalle dimensioni del carico armonico generato dalle lampade in proporzione al carico totale.

Anche se i sistemi di alimentazione elettrica sono stati progettati per carichi con tensioni sinusoidale pulita e stabilizzata, i livelli di distorsione armonica sono costantemente aumentati a



▲ **Figura 1:** Diagramma delle note emesse da un clarinetto in relazione alla fondamentale (148,5 Hz), mentre la 25esima armonica corrisponde alla frequenza di 3712,5 Hz



▲ **Figura 2:** Ampiezza della tensione di una lampada fluorescente in relazione all'armonica fondamentale (60Hz); la 50esima corrisponde alla frequenza di 3 kHz

causa della crescente domanda di energia elettrica. Tali distorsioni armoniche sono particolarmente problematiche per le lampade fluorescenti compatte. Nelle righe che seguono svolgeremo un breve analisi sulle armoniche superiori generate da quelle lampade. Esse dipendono in primis dal tipo di alimentatore utilizzato - elettromagnetico o elettronico - ed influenzano direttamente l'emissione luminosa della lampada.

Nella fisica della lampada fluorescente lineare la lunghezza e la forma del tubo, nonché la progettazione degli elettrodi, hanno effetti sorprendenti sulla frequenza dello spettro di emissione. Il comportamento del reattore, invece, condiziona le armoniche prodotte nel dispositivo, soprattutto nella fascia di frequenze su-



▲ **Figura 3:** Un clarinetto in si bemolle

periori e, di conseguenza, sulle prestazioni della lampada. Uno degli aspetti più importanti degli alimentatori è che sono sistemi non lineari, e come per la gran parte di essi, l'ampiezza della ennesima armonica dipende dalla ampiezza della fondamentale. Nel caso delle lampade fluorescenti, la distorsione è stata misurata fino alla 50a armonica.

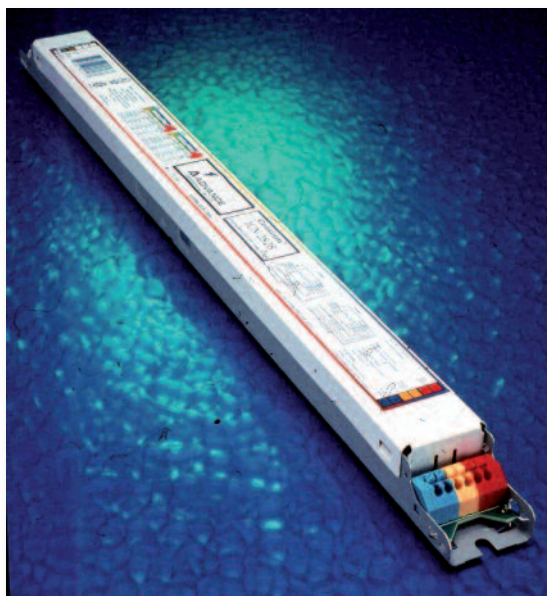
■ UN ESEMPIO IN MUSICA

Una semplice comparazione tra lampade fluorescenti e strumenti acustici illustra come il problema delle armoniche superiori della tensione sinusoidale di ingresso sia in grado di generare armoniche superiori, consentendoci di tracciare una sorprendente analogia tra i due sistemi.

A causa della sua relativa semplicità, il clarinetto è stato ampiamente studiato tra gli strumenti a fiato. Si tratta essenzialmente di uno strumento con un foro cilindrico ed una canna. Il tono del clarinetto, come lampade fluorescenti, è ricco di armoniche. La canna di un clarinetto genera una vasta gamma di frequenze sonore; questa generazione di complesse vibrazioni nella colonna d'aria provoca vortici che compongono l'insieme del flusso che fuoriesce attraverso la campana terminale. Nonostante le notevoli differenze nei loro spettri di frequenza, sia le lampade fluorescenti che i clarinetti hanno alcune caratteristiche fisiche che li assimilano. Ad esempio, sia il ballast di una lampada fluorescente sia la canna di un clarinetto sono disegnati per generare, controllare e ridurre la generazione di armoniche nei loro rispettivi dispositivi. Inoltre, sono progettati come adattatori di impedenza: quando una campana è accoppiata ad un tubo sonoro, la generazione di alte frequenze nello spettro acustico è notevolmente ridotta. L'aggiunta della campana comprime i picchi di risonanza più vicini e consente un'uscita audio più efficiente a frequenze superiori.

L'analogia con il flusso di energia elettrica che passa da una sorgente a una lampada fluorescente è evidente: anche qui l'adattamento dell'impedenza è di enorme importanza ai fini dell'efficienza complessiva del sistema.

Il fatto che la figura 2 contenga un maggior numero di armoniche superiori rispetto alla figura 1 indica che il miglioramento dei reattori è un problema ancora parzialmente irrisolto. Inoltre, i fenomeni non lineari nella lampada e nel clarinetto giocano un ruolo anche nella comparsa e nel decadimento delle oscillazioni, così come nell'ampiezza dello stato stazionario e nel contenuto armonico dei rispettivi dispositivi. Analizziamo ora, sempre secondo l'analogia in essere, alcune cause che comportano la generazione di armoniche superiori; nel caso delle lampade fluorescenti, la corrente elettrica è assimilabile al flusso d'aria, mentre il ballast equivale alla canna: entrambi producono una vasta gam-



◀ **Figura 4:**
Ballast elettronico per lampade fluorescenti

ma di oscillazioni non lineari. In generale, queste non linearità e le risonanze nel dispositivo possono influire sull'uscita in modo rilevante. Il foro del clarinetto, anche se strettamente cilindrico su gran parte della sua lunghezza, è molto diverso nella forma del boccaglio e della campana terminale. Le irregolarità nel flusso d'aria attraverso la campana hanno un effetto notevole sullo spettro di frequenza, in particolare per le note basse, mentre le variazioni di forma vicino alla canna possono influenzare la frequenza relativa di tutte le note e tutte le armoniche. Un'altra importante somiglianza tra la canna e il ballast è il rapporto tra la pressione P ed il acustico flusso U ($P = ZU$) e la tensione V nei confronti della corrente I ($V = ZI$), dove Z rappresenta l'impedenza della canna dovuta al diametro interno del clarinetto e l'impedenza del reattore di una lampada fluorescente. In entrambi i casi, dall'impedenza dipende in maniera significativa l'ampiezza e la frequenza di funzionamento. Quando la frequenza si avvicina a una frequenza di risonanza, il comportamento del dispositivo diventa più complesso, di conseguenza nuove armoniche superiori sono generate. L'esistenza di soglie inferiori e superiori - di pressione e di tensione - al di fuori dei quali la canna ed il ballast sono inefficaci, rappresenta un'altra importante caratteristica che i due dispositivi hanno in comune.

Da queste prime osservazioni si vede come l'analogia elettro-acustica testé introdotta può aiutare la comprensione dei problemi dovuti alle armoniche superiori nelle lampade fluorescenti e suggerire soluzioni volte alla loro riduzione.

■ AUTORE

Fausto Martin - Laureato in Ingegneria Elettrotecnica, opera come consulente libero professionista; fa parte dei SC 34 C del CEI ed è Segretario del Comitato Tecnico della European Sign Federation (www.faustomartin.com).